



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Bolig 2020 med godt indeklima of høj brugerkomfort – Årlig Målerapport

Jensen, Rasmus Lund; Jønsson, Kim Trangbæk; Heiselberg, Per

Creative Commons License
Ikke-specificeret

Publication date:
2020

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, R. L., Jønsson, K. T., & Heiselberg, P. (2020). *Bolig 2020 med godt indeklima of høj brugerkomfort – Årlig Målerapport*. Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg. DCE Technical Reports Nr. 295

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



INSTITUT FOR BYGGERI OG ANLÆG
AALBORG UNIVERSITET

Bolig 2020 med godt indeklima og høj brugerkomfort – Indeklima og komfort

**Rasmus Lund Jensen
Kim Trangbæk Jønsson
Per Kvols Heiselberg**



Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sektionen for Architectural Engineering.

DCE Technical Report No. 295

Bolig 2020 med godt indeklima og høj brugerkomfort – Årlig Målerapport

Rasmus Lund Jensen
Kim Trangbæk Jønsson
Per Kvols Heiselberg

Juli 2020

© Aalborg Universitet

Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

Technical Reports anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

Technical Memoranda udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

Contract Reports benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

Lecture Notes indeholder undervisningsmateriale udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

Theses er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad. Siden 2015 har Aalborg Universitetsforlag udgivet universitets ph.d.-afhandlinger i serier under det respektive fakultet. E-bogen hostes i AAU Ph.D.-portal, hvor man også finder reference til alle tidligere udgivet ph.d.-afhandlinger ved AAU.

Latest News rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

Udgivet 2020 af
Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Thomas Manns Vej 23
DK-9220 Aalborg Ø, Danmark

Trykt i Aalborg på Aalborg Universitet

ISSN 1901-726X
DCE Technical Report No. 295

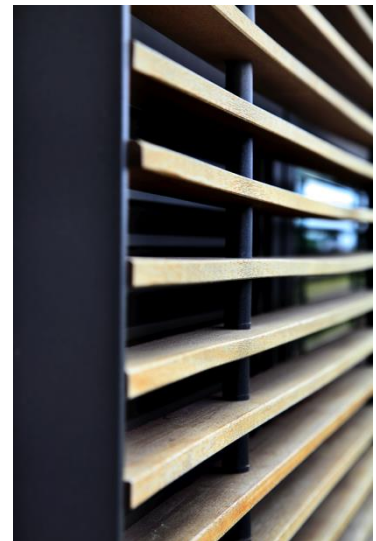
1. Indledning

Formålet med denne rapport er at konkludere på det opnåede indeklima i Bolig 2020. Det primære fokus er det termiske indeklima i sommerperioden og det atmosfæriske indeklima (CO₂ og RF) i vinterperioden, samt beboernes oplevelse af det realiserede indeklima.

Målingerne er primært for 2018 og 2019, samt enkelte for 2020. 2018 var en meget varm sommer og er derfor en god test for sommerkomforten. I denne rapport er kun vist et udvalg af målinger. Mere detaljerede gennemgang af indeklimamålingerne kan findes i de øvrige rapporter om Bolig 2020 der er tilgængelige på vbn.aau.dk

I design processen for Bolig 2020 blev der lagt vægt på at sikre at et godt og sundt indeklima ville kunne opnås. På baggrund af bl.a. [Larsen, T. S. (2011). Vurdering af indeklimaet i hidtidigt lavenergibyggeri] og tidligere erfaringer med udvendig solafskærmning og naturlig ventilation, blev der arbejdet med at integrere disse systemer i designet.

For at sikre anvendelse af solafskærmningen er det vigtigt at beboerne er tilfredse med udtrykket når solafskærmningen er aktiveret. Dvs. at de opnår en tilpas solafskærmning og at de har en tilstrækkelig kontakt til omgivelserne (mulighed for at se ud gennem afskærmningen). Der blev med udgangspunkt i ovenstående valgt en solafskærmning med faste vandrette lameller monteret på bevægelige rammer som vist på figur 1



Figur 1 Solafskærmning, Bolig 2020

Naturlig ventilation er et effektivt middel til at bortventilere varme fra bygninger, hvis det designes rigtigt. Under Danske forhold er det næsten altid muligt at køle bygningen om natten, da udetemperaturen sjældent kommer over 20 grader. For at den naturlige ventilation kan virke effektivt er det vigtigt at åbningerne og deres åbningsareal designes således at der kan opnås et tilpas stort åbningsareal ved lave drivtryk og et tilpas lille åbningsareal ved store drivtryk. Samtidig er det afgørende at den naturlige ventilation kan være aktive hele tiden, herunder når beboerne sover og ikke er hjemme. Dette kræver dels åbninger beboerne er trykke ved at lade være åbne og dels at åbningerne er forsikringsmæssigt godkendt.

I Bolig 2020 er der dels lavet en ingeniørmæssig projektering af den valgte løsning for naturlig ventilation, herunder gennemført et større antal dynamiske årssimuleringer for at sikre nødvendigt og

tilpas åbningsareal og dels implementeret en løsning med ventilationsskodder og taglemme, der opfylder ovenstående krav, figur 2



Figur 2 Ovenlys/taglem, samt ventilationsskodde set ude- og indefra

Styring

Både solafskærmningen og den naturlige ventilation er designet til at være fuldautomatisk. I 2018 var styringen rent manuelt og beboerne skulle derfor selv aktivere både solafskærmning og naturlig ventilation. I 2019 blev begge systemer automatisk aktiveret ud fra målingerne af indeklimaet i de enkelte rum. Beboerne havde stadigvæk mulighed for manuel styring – både aktivering og deaktivering, samt overstyring af automatikken.

2. Konklusion

Overordnet set er indeklimaet i Bolig 2020 af meget høj kvalitet. Specielt det termiske indeklima i varme perioder bør fremhæves. Beboerne er af samme opfattelse.

Selvom huset kun er beboet af to personer, vurderes det at det vil være muligt at opretholde et tilsvarende indeklima, selvom der var flere beboere i huset, da både den naturlige og også den mekaniske ventilation kan forøges.

Målingerne dokumenterer at man ved brug af kendte løsninger (udvendig solafskærmning og naturlige ventilation) og velovervejede design, kan skabe boliger med meget lavt energiforbrug, stor bruger tilfredshed og et rigtig godt indeklima.

3. Brugernes oplevede indeklima

I gennem projektet er beboerne blevet spurgt til deres oplevede indeklima og funktionen af solafskærmning og naturlig ventilation.

Beboerne har generelt været meget tilfreds med deres indeklima. De har oplevet en bolig der som oftest er behagelig at opholde sig i. De beskriver at de oplever en tydelige forskel mellem deres bolig og de øvrige nybyggede boliger der er opført i samme nyudstykning.

Solafskærmning

De fremhæver særligt den udvendige solafskærmning som vigtig for det behagelige temperaturniveau. Solafskærmningens åbenhed gør at de ofte har denne aktiveret, selv om det ikke er strengt nødvendigt. For soveværelset var solafskærmningen typisk aktiveret hele tiden.

Naturlig ventilation

Beboerne var generelt tilfredse med muligheden for at kunne udlufte naturligt og effekten af udluftningen, samt muligheden for ventilering om natten og når de ikke var hjemme. Til gengæld følte de det ofte generende, når automatikke regulerede åbningerne. Primært fordi motorerne støjede med også når ventileringen medførte træk.

4. Termisk sommerkomfort

På figurerne nedenfor er vist antallet af timer med temperaturer over 27 og 28°C, da det for boliger er disse Bygningsreglementet stiller krav til. Kravet er at der maksimalt må være 100 timer over 27°C og 25 timer over 28°C.

For 2018 ses at der er for de tre primærrum er mellem 260 og 400 timer over 27°C. Mange af disse timer lå i den periode, hvor beboerne var på ferie. I 2018 var styringen som tidligere beskrevet manuel og beboerne have ikke aktiveret solafskærmningen inden de tog på ferie. Derfor er ligeledes vist grafer, hvor der er korrigeret for denne ferie. Når der korrigeres, er der for det meget varme 2018 en mindre overskridelse for køkkenet, begrænset for stuen og ingen problemer for soveværelset.

For 2019, der dels var mindre varmt end 2018 og dels havde automatisk styring ligger temperaturen for de tre rum signifikant under kravene i Bygningsreglementet.

Generelt ses det at overtemperaturtimerne ligger fra dag nummer 150 til 240, svarende til de tre sommermåneder. Køkkenet som ikke er udstyret med udvendig solafskærmning er markant varmere end stuen, selvom disse to rum hænger sammen.

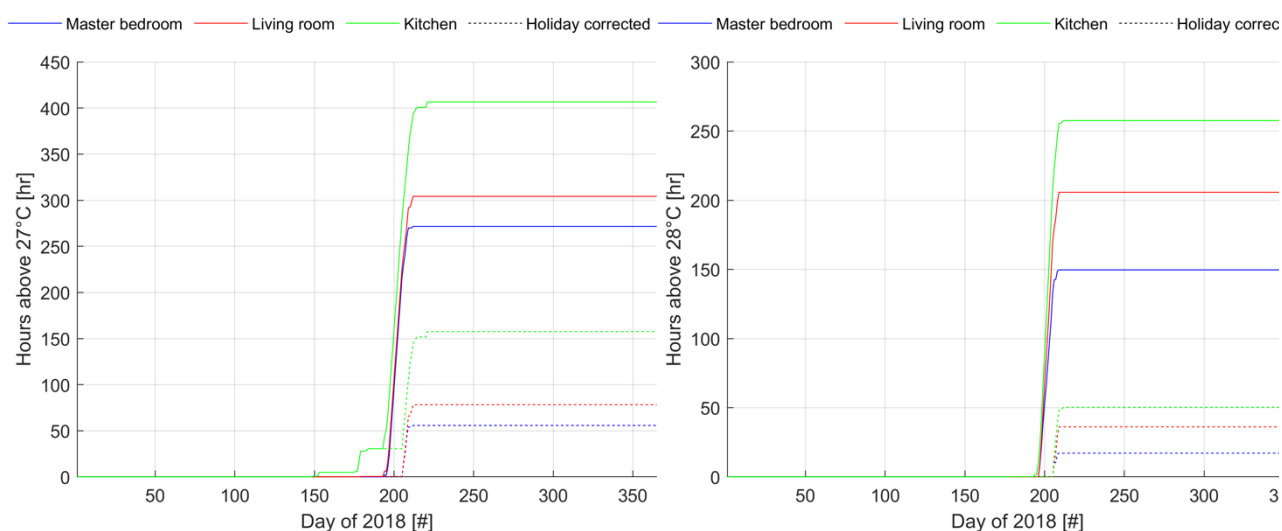


Figure 4.1: Excess temperature above 27°C and 28°C for 2018

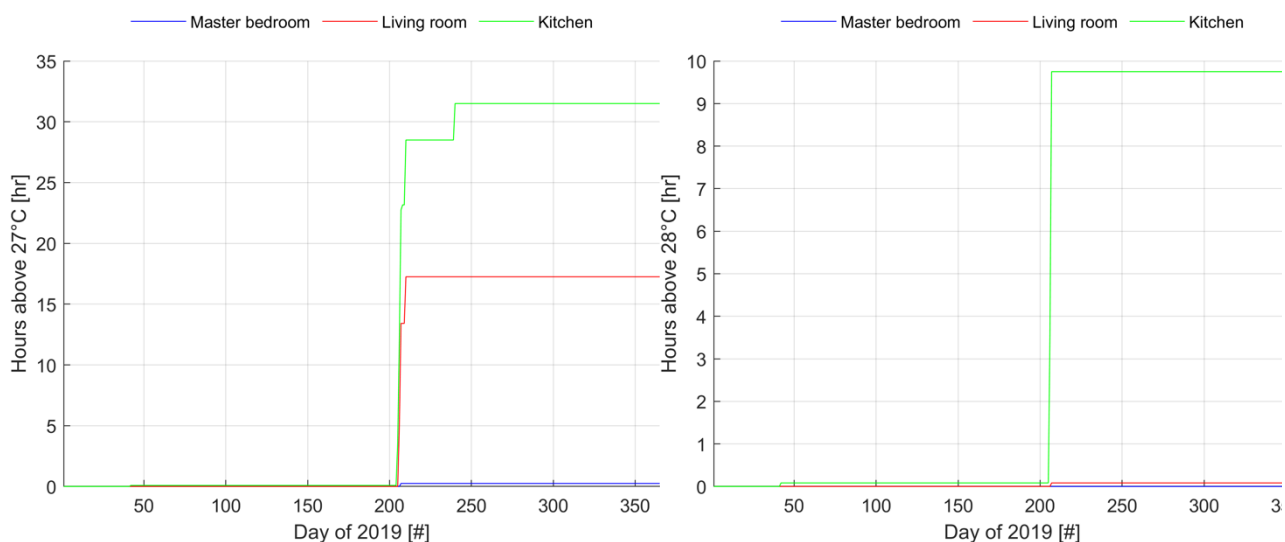


Figure 4.3: Excess temperature above 27°C and 28°C for 2019

5. Luftkvalitet - CO₂

CO₂ er benyttet som mål for indeluftkvaliteten. I tabellen nedenfor ses det at CO₂ niveauet kun i ganske få timer er over 1000 ppm og i praksis aldrig kommer over 2000 ppm. Den kumulative fordeling er vist på de to nedenstående figurer og opdeling efter indeklimaklasser er vist i bilag.

Overordnet set er luftkvaliteten god. Der ses også en forbedring af luftkvaliteten (reduktion af CO₂ indholdet) fra 2018 til 2019 der sandsynligvis skyldes aktiveringen af automatisk styret naturlig ventilation.

	Hours above			
	1000 ppm		2000 ppm	
Months	2018	2019	2018	2019
Master bedroom	38,1	23,3	0	0
Living room	34,3	19,3	0,2	0
Kitchen	27,8	16,8	0	0

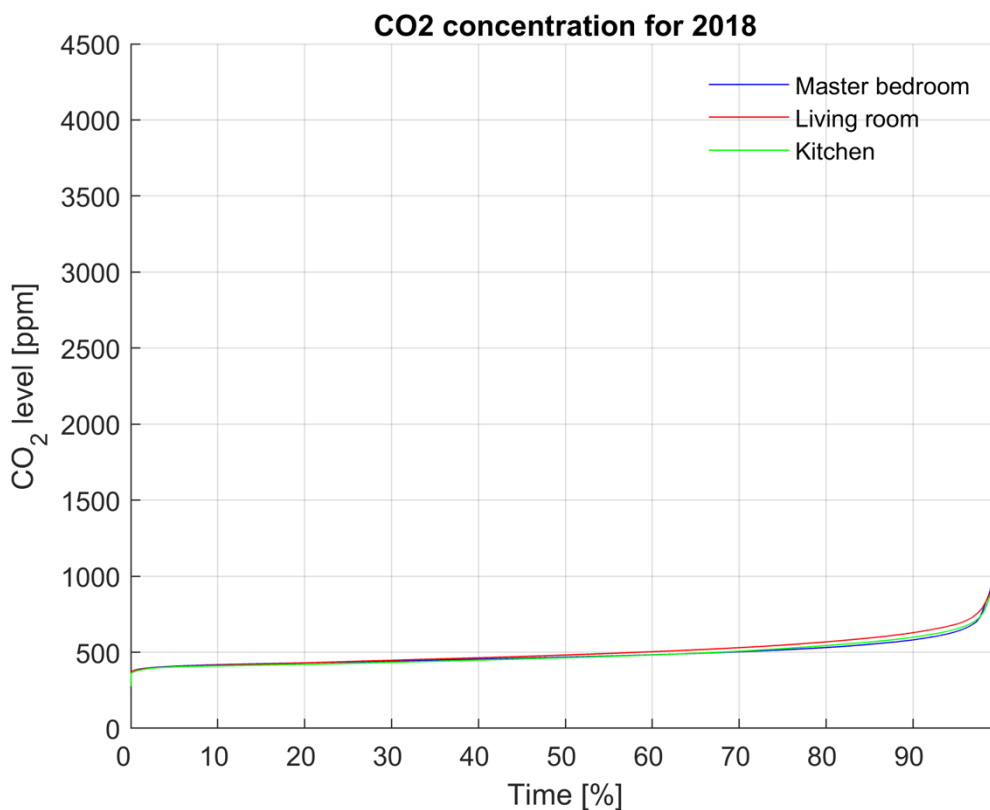


Figure 4.1: Percentage of time at CO₂ concentration | 2018

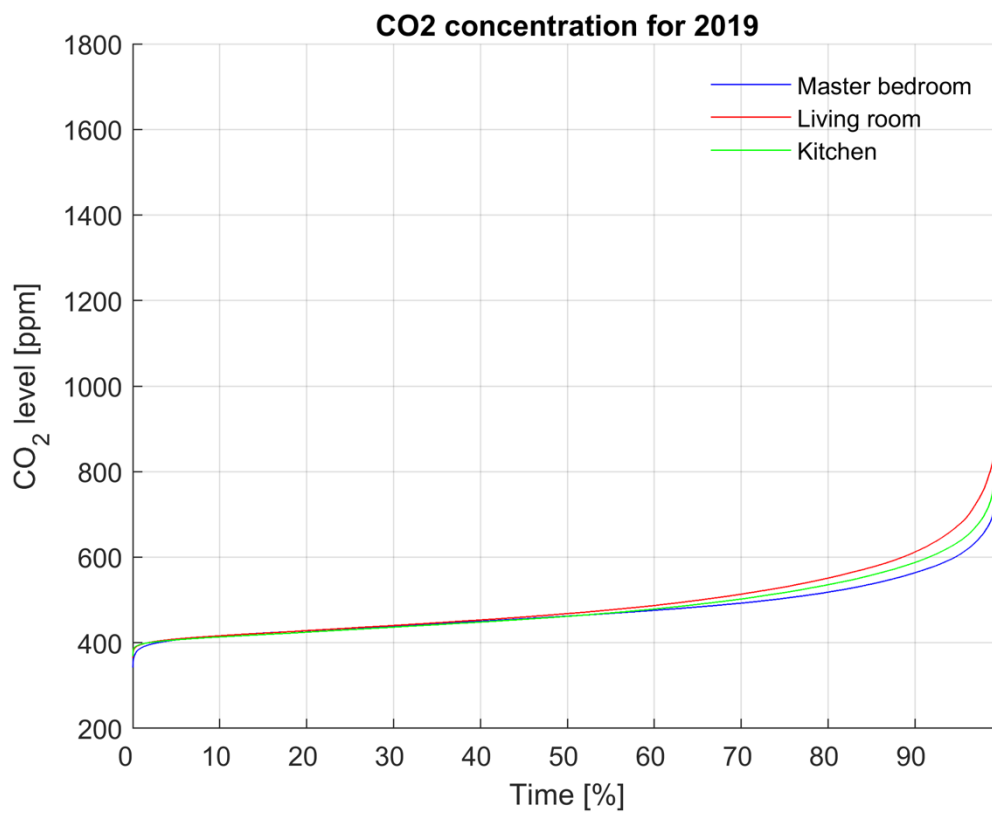


Figure 4.2: Percentage of time at CO2 concentration I 2019

6. Test af naturlig ventilation og solafskærmning

A test of the solar shading and natural ventilation was carried out from the 25th of June till the 3rd of July 2020. The automation of the solar shading was disabled from the 25th to the 28th and the natural ventilation control was disabled from the 29th till the 3rd. During the periods it was still possible to manually control the systems, but it was advised not to use them. The rooms being part of this test was Living room and Kitchen. The Master bedroom was use as a reference room. The kitchen does not have solar shading.

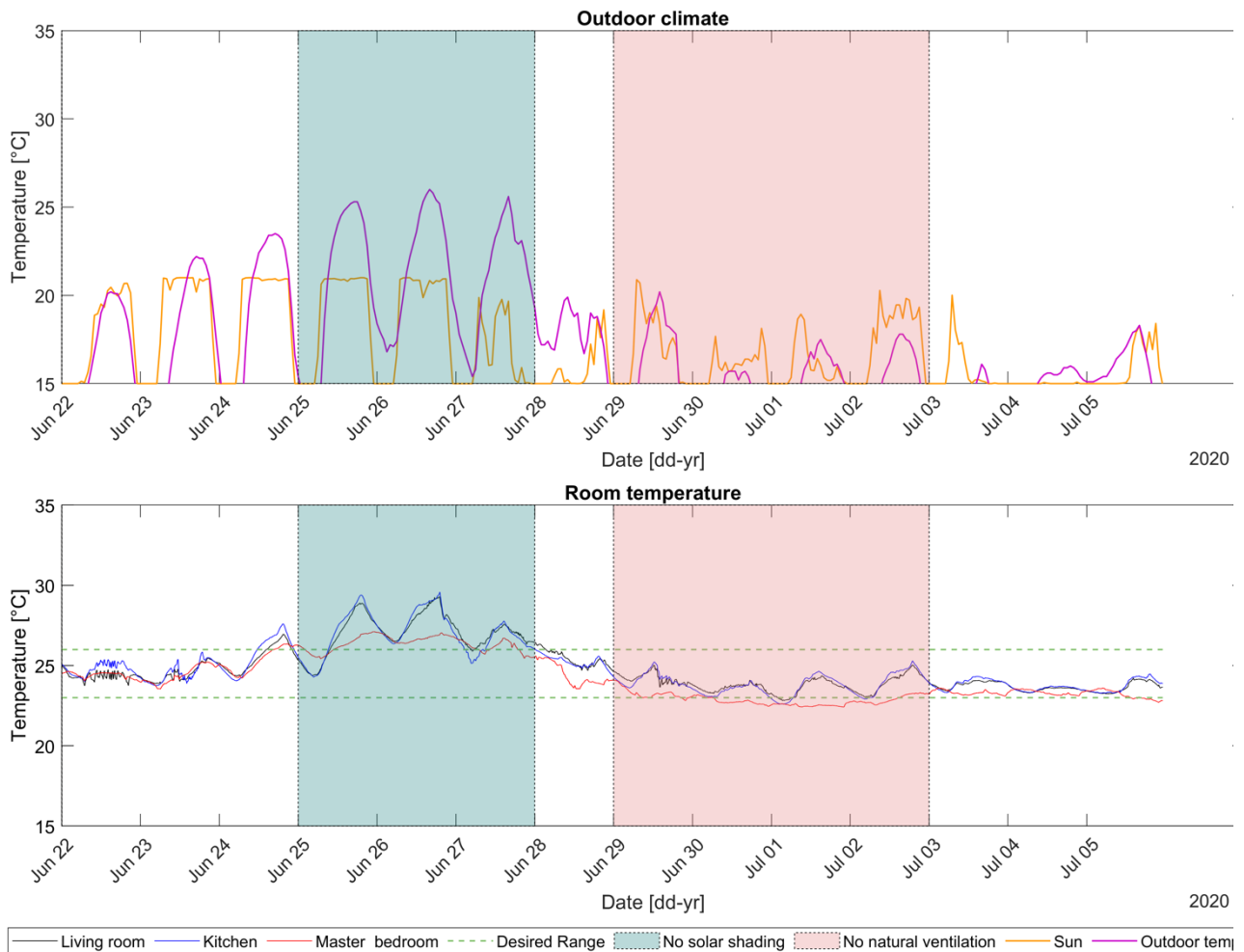


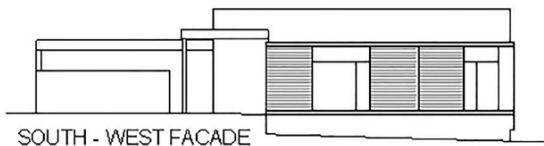
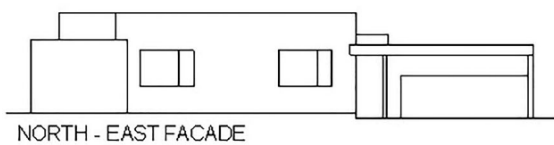
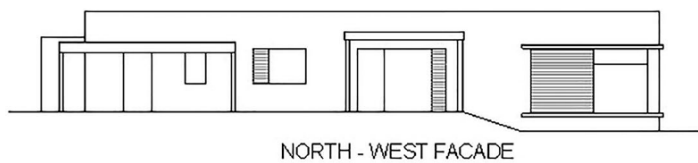
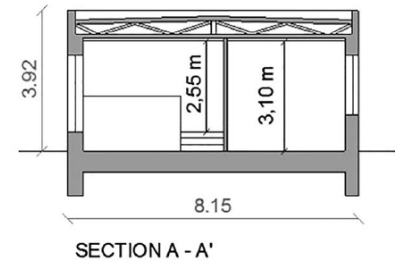
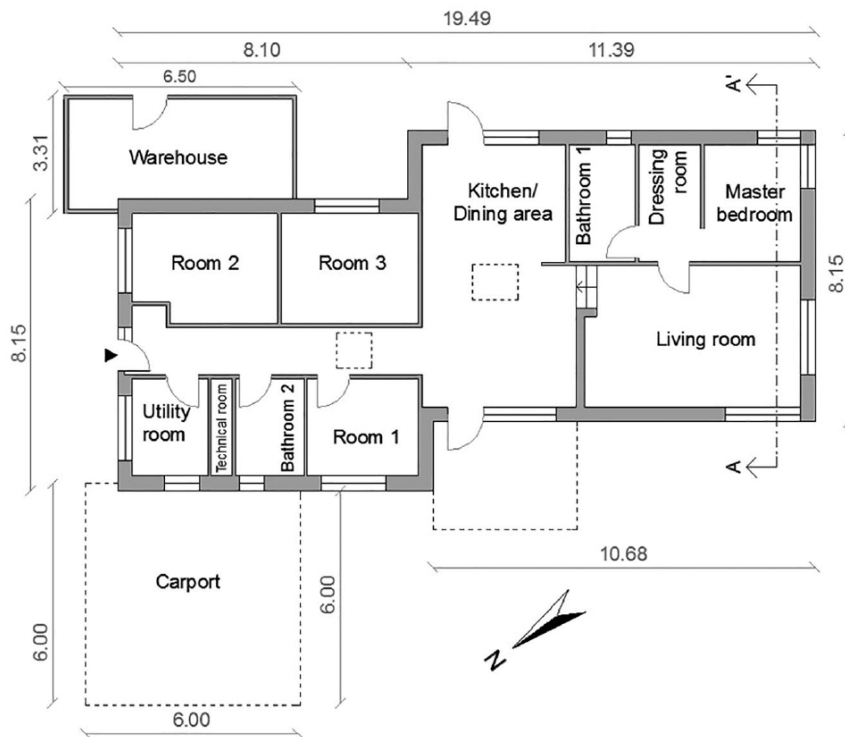
Figure 5.1: Outdoor conditions and indoor temperature for the two test periods.

The figure shows the outdoor temperature and an indication if the sun has shined and the indoor temperature of the three rooms during two tests. The BMS have called for the activation of the natural ventilation and solar shading during the period where the controller has been disabled, but the systems was not active during the periods.

The Master bedroom was not part of the test of the controllers. This is just to show the effect of the systems being active during the period. The indoor temperature of the Master bedroom is kept at a more stable level and closer to the preferred temperature range.

7. Bilag

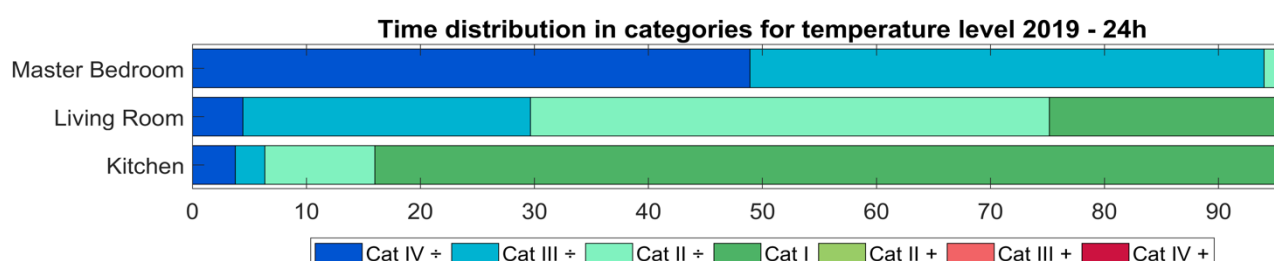
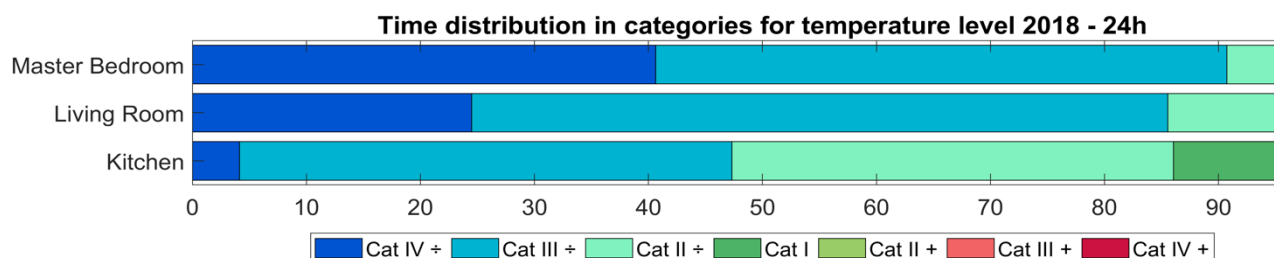
Tegninger



Indeklima, vinter 2017/2018 og 2018/2019

The winter period is compared for the months of December, January and February for 2018 and 2019. The thermal indoor environment is split up into the categories:

IV-	III-	II-	I	II+	III+	IV+
$t < 19$	$19 \leq t < 20$	$20 \leq t < 21$	$21 \leq t \leq 23$	$23 < t \leq 24$	$24 < t \leq 25$	$25 < t$

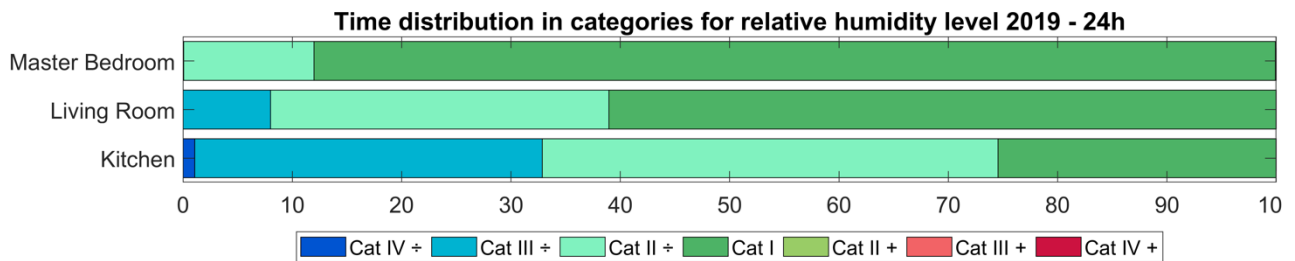
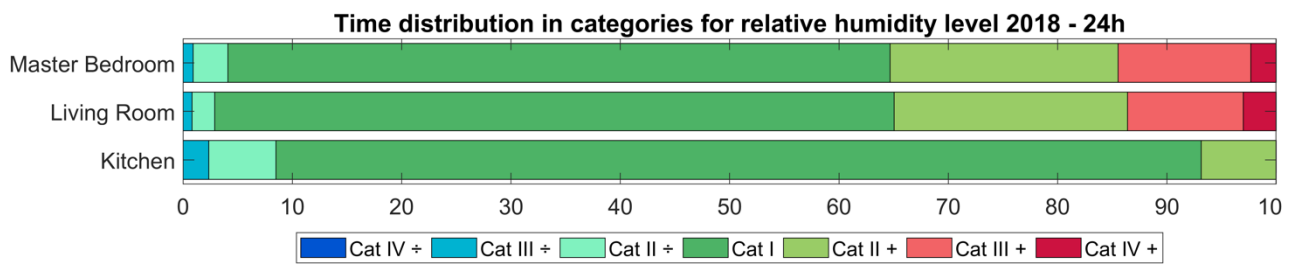


	Categories													
	IV-		III-		II-		I		II+		III+		IV+	
Months	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Master bedroom	41	49	50	45	8	4	1	2	-	-	-	-	-	-
Living room	25	4	61	25	13	46	2	25	-	-	-	-	-	-
Kitchen	4	4	43	3	39	10	14	82	-	2	-	-	-	-

Figure 1.1: Percentage of time in each Category for temperature

The relative humidity is evaluated in the categories:

Category	Design relative humidity for dehumidification [%]	Design relative humidity for humidification [%]
I	50	30
II	60	25
III	70	20
IV	>70	<20

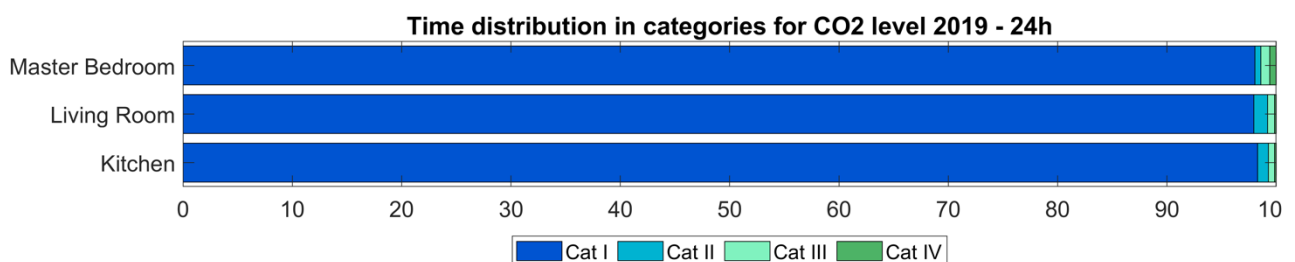
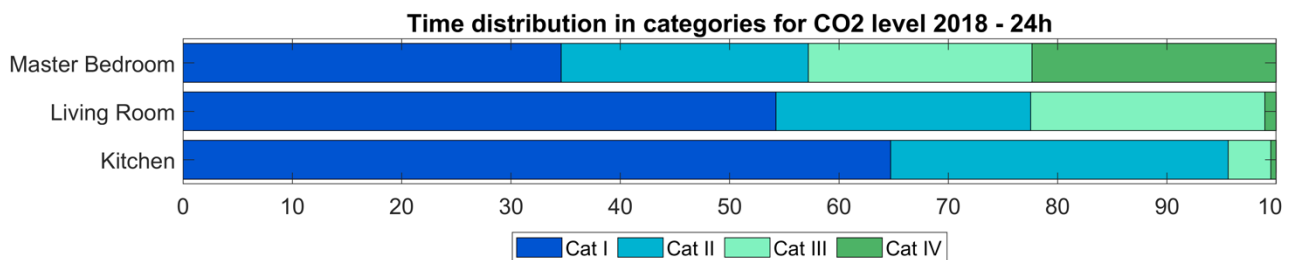


	Categories													
	IV-		III-		II-		I		II+		III+		IV+	
Months	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Master bedroom	-	-	1	-	3	12	61	88	21	-	12	-	2	-
Living room	-	-	1	8	2	31	62	61	21	-	11	-	3	-
Kitchen	-	1	2	32	6	42	85	25	7	-	-	-	-	-

Figure 1.2: Percentage of time in each Category for relative humidity

The CO₂ concentration of the rooms are evaluated in the following categories:

Category	Corresponding CO ₂ above outdoors level [ppm]
I	350
II	500
III	800
IV	> 800



Categories

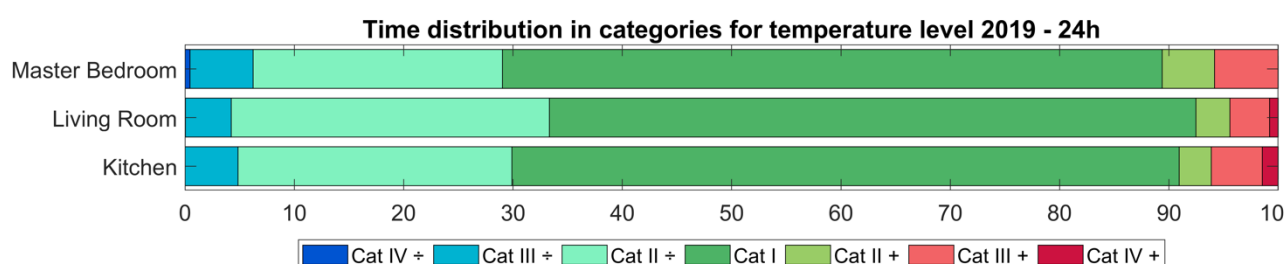
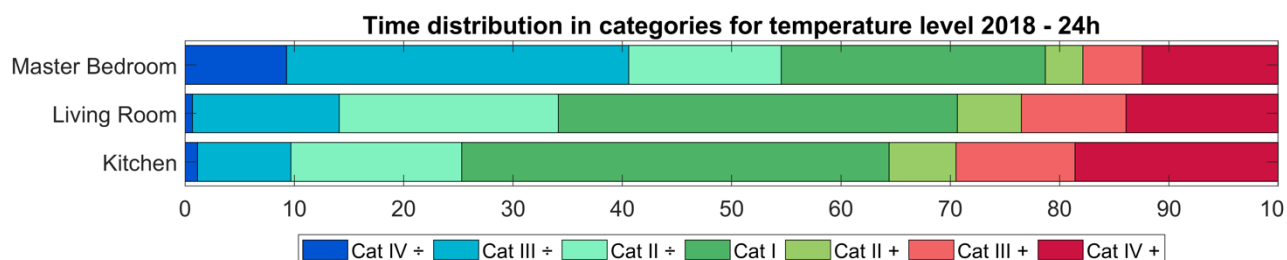
	I		II		III		IV	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Master bedroom	34,6	98	22,6	0,5	20,5	0,8	22,3	0,6
Living room	54,2	97,6	23,3	1,3	21,4	0,6	1	0,1
Kitchen	64,7	98,3	30,9	1	3,9	0,6	0,5	0,1

Figure 1.3: Percentage of time in each Category for CO2

Indeklima, sommer 2017/2018 og 2018/2019

The summer period is compared for the months of June, July and August for 2018 and 2019. The thermal indoor environment is split up into the categories:

IV-	III-	II-	I	II+	III+	IV+
$t < 22$	$22 \leq t < 23$	$23 \leq t < 23.5$	$23.5 \leq t \leq 25.5$	$25.5 < t \leq 26$	$26 < t \leq 27$	$27 < t$

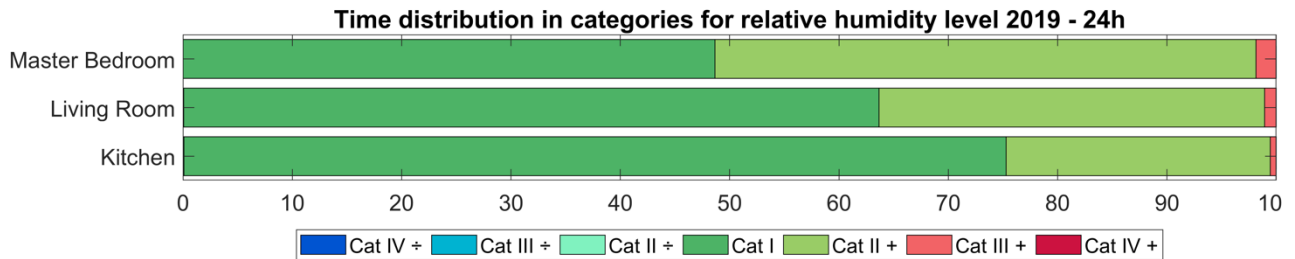
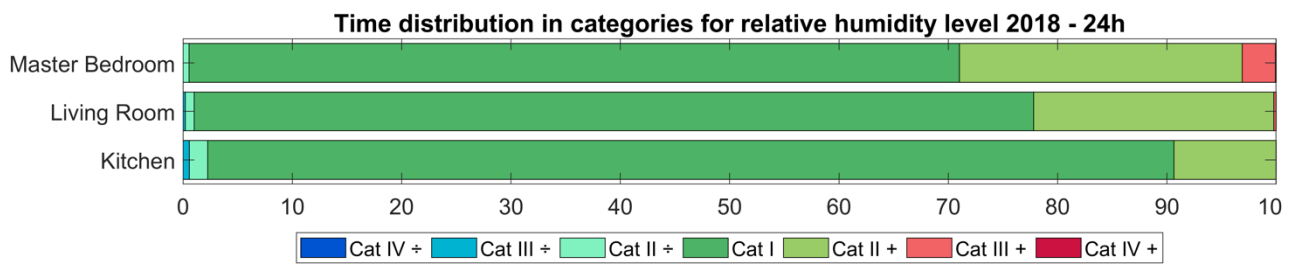


	Categories													
	IV-		III-		II-		I		II+		III+		IV+	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Master bedroom	9	-	31	6	14	23	24	60	3	5	5	6	12	-
Living room	1	-	13	4	20	29	37	59	6	3	10	4	14	1
Kitchen	1	-	9	5	16	25	39	61	6	3	11	5	19	1

Figure 2.1: Percentage of time in each Category for temperature

The relative humidity is evaluated in the categories:

Category	Design relative humidity for dehumidification [%]	Design relative humidity for humidification [%]
I	50	30
II	60	25
III	70	20
IV	>70	<20

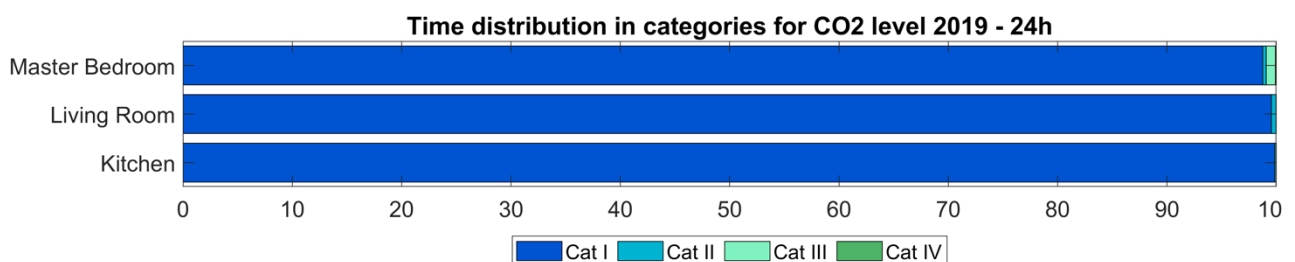
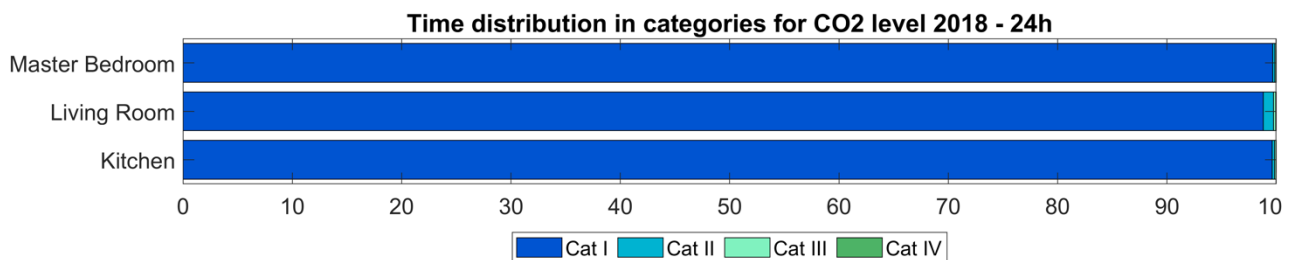


	Categories													
	IV-		III-		II-		I		II+		III+		IV+	
Months	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Master bedroom	-	-	-	-	1	-	70	49	26	49	3	2	-	-
Living room	-	-	-	-	1	-	77	64	22	35	-	1	-	-
Kitchen	-	-	1	-	2	-	88	75	9	24	-	1	-	-

Figure 2.2: Percentage of time in each Category for relative humidity

The CO₂ concentration of the rooms are evaluated in the following categories:

Category	Corresponding CO ₂ above outdoors level [ppm]
I	350
II	500
III	800
IV	> 800



Categories

	I		II		III		IV	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Master bedroom	99,7	98,8	0,2	0,3	0,1	0,9	0	0
Living room	98,8	99,6	0,9	0,4	0,2	0	0,1	0
Kitchen	99,6	99,8	0,2	0,2	0,1	0	0,1	0

Figure 2.3: Percentage of time in each Category for CO2

